

Рішення
разової спеціалізованої вченої ради
про присудження ступеня доктора філософії

Здобувач ступеня доктора філософії Сергій Васильович КОВАЛИК, 1997 року народження, громадянин України, освіта вища: закінчив у 2019 році Тернопільський національний технічний університет за спеціальністю «Біомедична інженерія», виконав акредитовану освітньо-наукову програму Біомедична інженерія.

Разова спеціалізована вчена рада, утворена наказом ректора Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Міністерства освіти і науки України, м. Тернопіль, від 19 червня 2026 року № 4/7-310 у складі:

Голови разової

спеціалізованої вченої ради – Ярослава ЛИТВИНЕНКА, доктора технічних наук, професора, професора кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Рецензентів –

Євгенії ЯВОРСЬКОЇ, кандидата технічних наук, доцент, завідувачка кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;
Лілії ХВОСТИВСЬКОЇ, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри радіотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Офіційних опонентів –

Андрія СВЕРСТІЮКА, доктора технічних наук, професора, професора кафедри медичної інформатики Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського;
Оксани БІЛОШИЦЬКОЇ, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

на засіданні 17 серпня 2026 року прийняла рішення про присудження ступеня доктора філософії з галузі знань 16 Хімічна та біоінженерія

Сергію КОВАЛИКУ

на підставі публічного захисту дисертації «Методи та засоби відбору й обробки біосигналів для задачі керування біонічним протезом кисті людини» за спеціальністю 163 Біомедична інженерія.

Дисертацію виконано у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя, Міністерство освіти і науки України, м. Тернопіль.

Науковий керівник: Леонід ДЕДІВ, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біотехнічних систем.

Дисертацію подано у вигляді спеціально підготовленого рукопису, який містить нові науково обґрунтовані результати проведених здобувачем досліджень, які полягають у розробленні методів та засобів відбору й інтегрованої обробки біосигналів, якими є сигнали поверхневої електроміографії та п'єзосигнали системи сенсорного зворотного зв'язку, для задачі керування біонічним протезом кисті людини, що забезпечують підвищення точності, плавності, стабільності та завадостійкості формування керуючих впливів у режимі реального часу.

Дисертаційну роботу виконано у межах наукових досліджень Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за тематикою кафедри біотехнічних систем та пов'язана з виконанням науково-дослідної роботи «Біонічний протез кисті руки на основі ендоскелета», № державної реєстрації 0125U003760.

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження полягає у розробленні методу інтегрованої обробки біосигналів, підходу до формування керуючих впливів, удосконаленні алгоритму керування та розвитку математичних моделей сигналів, а саме:

вперше:

- розроблено метод інтегрованої обробки біосигналів (електроміографічних сигналів та п'єзосигналів) у ковзних часових вікнах, який базується на сегментації сигналів, формуванні їх огинаючих та узагальнених параметрів у часових інтервалах із подальшою інтеграцією інформаційних каналів, що дозволило підвищити інформативність біосигналів, зменшити вплив на них завад (шумів, артефактів) та забезпечити їх використання для формування керуючих впливів у режимі реального часу;

- запропоновано підхід до формування керуючих впливів у системі керування біонічним протезом кисті на основі інтеграції біосигналів (електроміографічних сигналів та п'єзосигналів), який, на відміну від існуючих, передбачає використання п'єзосигналів як каналу сенсорного зворотного зв'язку при одночасному використанні електроміографічних сигналів для визначення наміру користувача, що забезпечило підвищення точності та стабільності керування;

удосконалено:

- алгоритм формування керуючої напруги, який, на відміну від відомих, враховує результати інтегрованої обробки біосигналів у ковзних часових вікнах та динамічні обмеження системи керування біонічним протезом, що дозволило забезпечити плавність зміни керуючих впливів, обмеження їх амплітуди та підвищення стійкості функціонування системи

отримали подальший розвиток:

- математичні моделі біосигналів (електроміографічних сигналів та п'єзосигналів) як інформаційних каналів системи керування біонічним протезом кисті, які, на відміну від існуючих, враховують їх часову структуру, параметричні характеристики та особливості обробки у ковзних часових вікнах, що дозволило підвищити адекватність моделювання процесу формування керуючих впливів.

Дисертація виконана державною мовою та оформлена згідно вимог, встановлених МОН. Дисертаційна робота викладена на 223 сторінках. Текст основної частини дисертації становить 6,71 авторських аркушів.

Здобувач має 9 наукових публікацій за темою дисертації, з них 4 у наукових виданнях, включених на дату опублікування до переліку наукових фахових видань України, та 5 праць у матеріалах конференцій, з яких 2 індексуються у наукометричній базі Scopus:

1. Dozorskyi V., Dediv L., Kovalyk S., Dozorska O., Dediv I. Design of the endoskeleton of a biocontrolled hand prosthesis. Scientific Journal of TNTU. 2024. Vol. 115, № 3. P. 100-111. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu.

2. Dediv L., Kovalyk S. Structure of the bionic hand prosthesis control system with sensor feedback. Scientific Journal of TNTU. 2025. Vol. 119, № 3. P. 45-55. DOI: https://doi.org/10.33108/visnyk_tntu.

3. Khvostivskyi M., Kovalyk S. Integrated mathematical model of the control system for upper-limb bioprosthesis based on EMG and piezoelectric signals. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences. 2025. № 359. P. 31-37. DOI: <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-359-74>.

4. Kovalyk S., Khvostivskyi M. Method and algorithm of windowed processing of EMG and piezoelectric signals for the formation of control actions in bioprostheses. Perspective Technologies and Devices. 2025. Vol. 27, № 1. P. 21-28. DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2313-5352-2025-27-1>.

5. Дедів Л. Є., Кубашок А. В., Ковалик С. В. Спосіб реалізації тактильних відчуттів для біокерованого протеза кисті руки. Актуальні проблеми науки, освіти і суспільства: досвід та перспективи: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Дрогобич: ЦФЕНД, 2023. Ч. 3. С. 46-47.

6. Дедів Л.Є., Дозорський В.Г., Ковалик С.В., Кукурудза В.А. Рука-маніпулятор для роботизованої хірургії. Modern Scientific Challenges are the Driving Force of the Development of Scientific Research: Proceedings of the XXIV International Scientific and Practical Conference. Bruges, Belgium, 2024. С. 213-214.

7. Dediv L., Dozorska O., Kukuruza V., Nykytyuk V., Kovalyk S. Computer simulation modeling of voice signals in the MATLAB environment for the task of computerized diagnostic systems testing. Proceedings of the 1st International Workshop on Computer Information Technologies in Industry 4.0 (CITI 2023). 2023. Vol. 3468. P. 257-262. ISSN 1613-0073.

8. Dediv L. Ye., Dozorskyi V. H., Kovalyk S. V., Kubashok A. V. Design of a biocontrolled hand prosthesis. Scientific Achievements and Innovations as a Way to Success: Proceedings of the XXI International Scientific and Practical Conference. Vilnius, Lithuania, 2024. P. 226-227.

9. Tymkiv P., Kłos-Witkowska A., Bahrii-Zaiats O., Kovalyk S. Smart prosthetics in surgery: AI-driven tactile feedback using piezoelectric sensors. Proceedings of the 1st International Workshop on Bioinformatics and Applied Information Technologies (BAIT-2024). 2024. Vol. 3842. P. 208-217. ISSN 1613-0073.

У дискусії взяли участь голова, рецензенти, офіційні опоненти, інші присутні та висловили зауваження:

Ярослав ЛИТВИНЕНКО, доктор технічних наук, професор, професор кафедри комп'ютерних наук Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (голова разової спеціалізованої вченої ради) відзначив належний науковий рівень дисертаційного дослідження та дав позитивну оцінку отриманим результатам, які розв'язали важливу науково-практичну задачу яка полягає у можливості їх використання для підвищення ефективності систем керування біонічними протезами верхніх кінцівок за рахунок застосування розроблених методів та засобів відбору й обробки біосигналів.

Андрій СВЕРСТЮК, доктор технічних наук, професор, професор кафедри медичної інформатики Тернопільського національного медичного університету імені І.Я. Горбачевського (офіційний опонент), вказав на обґрунтованість наукових положень, висновків і рекомендацій, представлених у дисертаційній роботі, однак висловив наступні зауваження:

- під час побудови математичних моделей біосигналів основну увагу приділено часовим характеристикам сигналів. Водночас недостатньо висвітлено вплив індивідуальних фізіологічних особливостей користувачів на параметри моделей та ефективність функціонування системи керування;
- експериментальна частина роботи достатньою мірою підтверджує працездатність запропонованих методів і алгоритмів. Разом із тим доцільно було б навести більш розгорнутий порівняльний аналіз отриманих результатів із характеристиками відомих комерційних систем керування біонічними протезами та сучасними аналогічними науковими розробками;
- запропонований метод інтегрованої обробки біосигналів характеризується високою ефективністю та підтверджений результатами математичного моделювання й експериментальних досліджень. Разом із тим потребує більш детального висвітлення питання обчислювальної складності запропонованих алгоритмів, їх швидкодії та використання апаратних ресурсів під час реалізації на сучасних вбудованих мікроконтролерах і цифрових сигнальних процесорах;
- запропонована система оцінювання ефективності функціонування системи керування базується на комплексі інтегральних показників. Разом із тим доцільно було б більш детально дослідити вплив зміни параметрів алгоритмів на швидкість адаптації системи до індивідуальних особливостей користувачів та стабільність її функціонування за різних умов реєстрації біосигналів;
- у дисертаційній роботі недостатньо уваги приділено аналізу довготривалої стабільності електроміографічних сигналів, впливу втоми м'язів та інших фізіологічних чинників на ефективність функціонування системи керування біонічним протезом у процесі тривалої експлуатації.

Оксана БІЛОШИЦЬКА, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичної інженерії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (офіційний опонент), позитивно оцінивши загальний науковий рівень дисертації та виокремивши її практичну цінність, зауважила:

- у дисертаційній роботі заявлено підвищення точності та стабільності керування завдяки інтегрованому використанню електроміографічного і п'єзоелектричного каналів. Водночас не наведено достатнього кількісного порівняння запропонованої системи з базовим варіантом

прямого міоелектричного керування без сенсорного зворотнього зв'язку. Таке зіставлення дало б змогу точніше визначити внесок п'єзоканалу в покращення характеристик системи. Додатково доцільним було б порівняння з одним або кількома альтернативними методами обробки за однакових експериментальних умов і критеріїв оцінювання;

- перевірку інтегрованої системи керування здійснено переважно шляхом комп'ютерного моделювання в середовищі MATLAB із використанням експериментально зареєстрованих біосигналів. Доцільним було б доповнення роботи результатами функціонування повного замкненого контуру на апаратному електромеханічному прототипі або вбудованій обчислювальній платформі в режимі реального часу. Це дало б змогу оцінити фактичні затримки, обчислювальні витрати, вплив апаратних завад та стійкість системи в умовах практичної експлуатації;

- у роботі недостатньо повно наведено кількісні й демографічні характеристики експериментальної вибірки, кількість повторних реєстрацій та показники міжсуб'єктної варіабельності електроміографічних сигналів. Оскільки методика ґрунтується на використанні здорової кінцівки та принципі дзеркальних рухів, додатково дослідження потребує можливість перенесення отриманих результатів на осіб з різними рівнями ампутації, станом залишкових м'язів і розташуванням електродів, зокрема на користувачів, для яких застосування дзеркальних рухів є обмеженим або неможливим;

- практична реалізація сенсорного зворотнього зв'язку розглянута переважно на рівні структурної організації системи та використання п'єзосигналу для корекції керувальних впливів. Водночас не проведено експериментального оцінювання сприйняття користувачем тактильної стимуляції, її розпізнаваності, комфортності, просторової локалізації та впливу на ефективність маніпуляцій без постійного зорового контролю. Дослідження цих характеристик посилює б обґрунтування практичної цінності запропонованої системи.

Євгенія ЯВОРСЬКА, кандидат технічних наук, доцент, завідувачка кафедри біотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (рецензент), не применшуючи наукового здобутку дисертації та підкресливши важливість отриманих результатів, зауважила:

- в роботі занадто детально проаналізовано біомеханіку живої кисті людини та поширені концепції реалізації сенсорного зворотнього зв'язку. Натомість варто було б детальніше описати генезис та параметри сигналів поверхневої електроміографії.;

- при реалізації тактильних відчуттів автором запропоновано використати метод вібротактильної стимуляції. Варто було б обґрунтувати параметри та режими роботи віброактуаторів, оскільки від них залежатиме природність відчуттів користувача такого протеза;

- варто було б проаналізувати можливості застосування інших типів сенсорів (тензорезистивних, п'єзорезистивних, ємнісних тощо) в контурі сенсорного зворотнього зв'язку та порівняти їх із можливостями запропонованого п'єзоелектричного сенсора;

- варто було б більш детально описати та обґрунтувати параметри основних елементів мультиелектродної системи відбору сигналів поверхневої електроміографії, зокрема розмірів та форми контактних поверхонь електродів, коефіцієнтів підсилення підсилювачів тощо;

- варто було б порівняти розроблені в роботі методи обробки сигналів поверхневої електроміографії та п'єзоелектричних сигналів із відомими методами обробки в плані обчислювальної складності, технічної реалізованості та часових затримок, що додатково підтвердило б вигоду в застосуванні розроблених автором методів в структурі керування комерційно доступними протезами;

- результати експериментальних досліджень є переконливими, однак їх можна було б доповнити аналізом чутливості методів обробки до зміни параметрів вхідних даних;

- програмна реалізація методу виконана на належному рівні. Для подальшого використання доцільним було б більш детально описати структуру програмного забезпечення.

Лілія ХВОСТИВСЬКА, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри радіотехнічних систем Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (рецензент), не применшуючи наукового здобутку дисертації та підкресливши вагомість одержаних результатів, зауважила:

– проведений у роботі аналіз сучасних систем керування біонічними протезами кисті людини та методів обробки електроміографічних сигналів доцільно було б доповнити більш детальним порівнянням ефективності існуючих підходів з точки зору їх використання у системах реального часу. Такий аналіз дав би змогу більш повно обґрунтувати переваги запропонованого автором підходу до інтегрованої обробки електроміографічних сигналів та п'єзосигналів;

– представлені технічні рішення щодо побудови біонічного протеза кисті та системи відбору біосигналів є достатньо обґрунтованими та практично орієнтованими. Водночас більш детальний аналіз вибору окремих елементів апаратного забезпечення, зокрема характеристик сенсорів, параметрів каналів реєстрації сигналів та їх впливу на формування керуючих впливів, дозволив би повніше оцінити ефективність функціонування системи біокерування в режимі реального часу;

– наведені результати моделювання та експериментальних досліджень підтверджують працездатність запропонованої системи керування біонічним протезом кисті. Разом з тим, доцільно було б більш детально дослідити поведінку системи за різних режимів навантаження та варіацій характеристик біосигналів, що дозволило б повніше оцінити стабільність і надійність функціонування запропонованих методів та алгоритмів у реальних умовах експлуатації;

– у роботі значну увагу приділено інтегрованій обробці електроміографічних сигналів та п'єзосигналів, однак питання впливу індивідуальних фізіологічних особливостей користувача на характеристики біосигналів та якість керування біонічним протезом розглянуто недостатньо детально. Проведення додаткових досліджень у цьому напрямі дозволило б більш повно оцінити адаптивність запропонованої системи керування до різних груп користувачів.

Проте, варто підкреслити, що вказані зауваження ніяк не зменшують наукову та практичну цінність отриманих результатів дисертаційного дослідження і жодним чином не впливають на загальну позитивну та схвальну оцінку дисертаційної роботи.

Результати відкритого голосування:

«За» 11 з 16 членів ради,
«Проти» 0 з 16 членів ради.

На підставі результатів відкритого голосування разова спеціалізована вчена рада присуджує Сергію КОВАЛИКУ ступінь доктора філософії з галузі знань 16 Хімічна та біоінженерія за спеціальністю 163 Біомедична інженерія.

Відеозапис трансляції захисту дисертації додається.

Голова разової спеціалізованої вченої ради



Ярослав ЛИТВИНЕНКО
(власне ім'я та прізвище)